

대형 Community 건물의 지열원 복합 하이브리드 히트펌프 시스템 성능에 관한 해석적 연구

변 재기¹⁾, 정 동화²⁾, 이 종길³⁾, 홍 성호⁴⁾, 최 영돈⁵⁾, 조 성환⁶⁾

Analytical Study on the Performance of Ground Source Compound Hybrid Heat Pump System for Large Community Building

Jaeki Byun, Donghwa Jeong, Jonggil Lee, Seongho Hong, Youngdon Choi, Sunghwan Cho

Key words : Heat pump(열펌프), Ground source(지열원), Air source(공기열원), River source(하천수열원), Sea source(해수열원), Waste water source(하수열원)

Abstract : Ground source heat pumps are clean, energy-efficient and environment-friendly systems cooling and heating. Although the initial cost of ground source heat pump system is higher than that of air source heat pump, it is now widely accepted as an economical system since the installation cost can be returned within an short period of time due to its high efficiency. In the present study, performances of ground source compound hybrid heat pump system applied to a large community building are simulated. The system design and operation process appropriate for the surrounding circumstance guarantee the high benefit of the heat pump system applied to a large community building. If among several renewable energy sources, ground, river, sea, waste water source are chosen as available alternative energies are combined, COP of the system can be increased largely and hybrid heat pump system can reduced the fuel cost.

1. 서론

최근 고유가의 환경문제로 인해 대체에너지에 중요성이 대두되면서 신재생에너지 자원의 활용에 대한 관심은 그 어느때 보다 높아지고 있다.

현재 우리나라의 경우 정부 기관을 중심으로 지열 시스템의 보급 확대를 위하여 노력이 증가하고 있으나 기존의 시설보다 많은 초기투자비와 외국의 지열원 히트펌프 시스템을 그대로 도입, 모방하는 것은 국내의 실정에 맞지 않는 방법이다.

따라서, 국내의 실정에 맞는 지열원 히트펌프 시스템과 그 시스템의 신뢰성을 검증하는 것이 중요하나 아직 국내에서는 객관적이고 신뢰성 있는 자료가 없는 상태이다.

본 연구에서는 단일열원 히트펌프 시스템의 운전성능 저하에 따른 대안으로 공기열원, 지열원, 하천수열원, 해수열원, 하수열원을 복합으로 사용하는 복합열원 히트펌프 시스템을 구성하여 히트펌프 시스템의 성능해석 시뮬레이션을 수행

하여 단일열원 히트펌프 시스템의 성능과 비교하였다.

-
- 1) 고려대학교 대학원 기계공학과
E-mail : bjky21@korea.ac.kr
Tel : (02)926-5908 Fax : (02)928-1067
 - 2) 고려대학교 대학원 기계공학과
E-mail : dhj1222@korea.ac.kr
Tel : (02)926-5908 Fax : (02)928-1067
 - 3) 고려대학교 대학원 기계공학과
E-mail : milenova@korea.ac.kr
Tel : (02)926-5908 Fax : (02)928-1067
 - 4) 고려대학교 대학원 기계공학과
E-mail : scientist@korea.ac.kr
Tel : (02)926-5908 Fax : (02)928-1067
 - 5) 고려대학교 기계공학과
E-mail : ydchoi@korea.ac.kr
Tel : (02)926-3355 Fax : (02)928-1067
 - 6) 전주대학교 기계자동차공학과
E-mail : sucho@jj.ac.kr
Tel : (063)220-2663 Fax : (063)220-2056

2. 전산시뮬레이션을 위한 대형 Community 건물의 선정

본 연구의 전산시뮬레이션 대상 건물은 현재 설치 가동 되고 있는 건물이며, 자세한 사항은 Table 1에 나타내었다.

이 대형 Community 건물은 다른 건물에 비하여 일중부하변동이 적으며, 연중부하가 크기 때문에 히트펌프 시스템을 적용하였을 경우 경제성 측면에서 유리하기 때문에 시뮬레이션 대상 건물로 선정하였다. 건물면적을 10,000평으로 확대 적용하였으며, 지역에 따른 소요에너지 변환과 에너지 경제성 변화를 조사하기 위하여 대상 건물의 내용은 변하지 않고 건물의 설치 위치를 문막, 대전, 부산으로 변환시켜 전산해석을 수행하였다.

Table 1 The details of the object

object	Oak Valley Resort
Location	Munmak, Gangwon-do
Area(m ²)	27,028
Number of persons	Maximum : 2,260

3. 건물의 냉·난방 부하 동적 해석과 히트펌프 시스템 시뮬레이션

3.1 복합열원 히트펌프 건물 냉·난방 시스템 구성

본 연구에서 전산시뮬레이션을 수행할 지열원 히트펌프 건물 냉·난방 시스템 구성은 Fig. 1과 같다. 히트펌프 건물 냉·난방 시스템은 수축열식 복합열원 히트펌프 시스템과 폐열회수 수열원 히트펌프 시스템의 복합으로 이루어진다. 이 시스템과 비교할 히트펌프 시스템은 (1)수축열식 단일열원 히트펌프 시스템 (2)수축열식 복합열원 히트펌프 시스템이다.

본 연구에서 열저장-열용량법⁽¹⁾을 사용하여 건물의 냉·난방 부하를 계산하였고, EES 히트펌프 사이클 해석 코드⁽²⁾를 도입하여 히트펌프의 사이클을 해석하였다.

또한, 지중열교환기의 성능 및 지배방정식, 경계조건은 “대형 Community 건물의 연료전지 구동 지열원 히트펌프 시스템 성능에 관한 해석적 연구”⁽³⁾를 참고하였다.

Fig. 2는 지역별 지중온도 변화와 수열원의 연중 온도변화를 나타낸 것이다. 하천수는 팔당댐, 해수는 부산지역, 하수는 반월공단 하수처리수의 온도이다.

4. 히트펌프 시뮬레이션 결과

4.1 재실률 변화에 따른 히트펌프 시스템 성능 비교

건물 내 재실률 변화에 따라 인체에서 발생하는 열량이 많아져 히트펌프 시스템 성능에 영향을 미치게 된다.

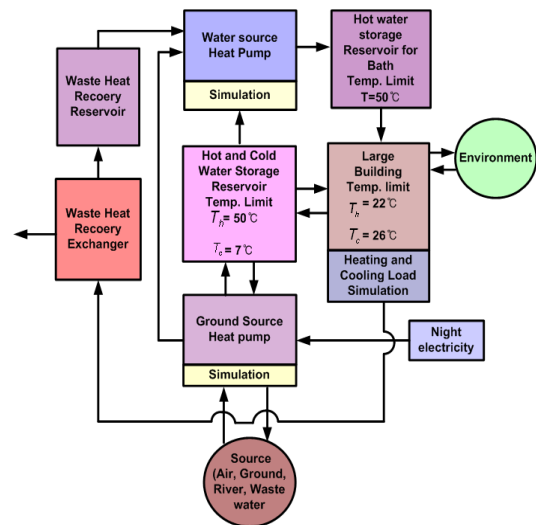


Fig. 1 Schematic diagram of compound source hybrid heat pump system

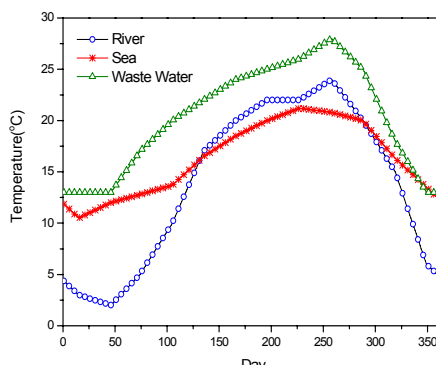
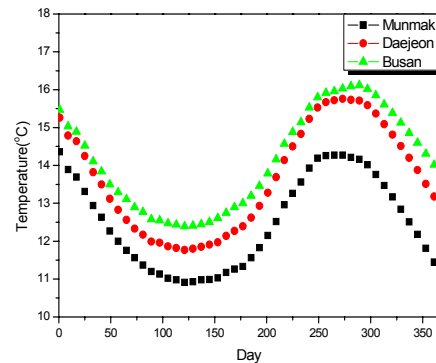


Fig. 2 Variation of temperatures

Fig. 3은 문막 지역의 재실률 변화에 따른 지중온도 변화와 Fig. 4는 지역별 히트펌프 냉·난방 COP 변화를 보여주고 있다. 공기열원 히트펌프 시스템의 경우 재실률 변화에 따라 히트펌프 시스템 성능은 크게 변화하지 않지만 지열원 히트펌프 시스템을 이용할 경우 재실률이 증가할수록 인체에서 발생하는 열량이 증가되어 한 보어홀 당 담당 냉·난방 부하가 커져서 지중 파이프 온도가 상승하여 냉방 COP가 감소하게 된다.

한편, 난방의 경우 재실인원이 증가함에 따라

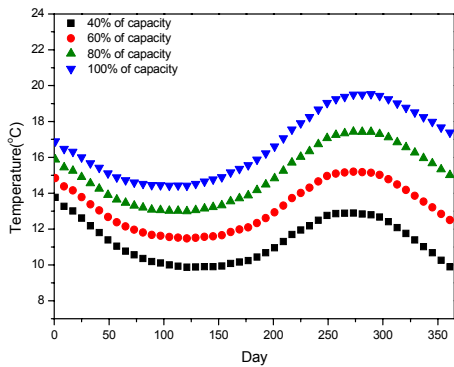


Fig. 3 Effect of occupancy on the ground mean temperature(Munmak)

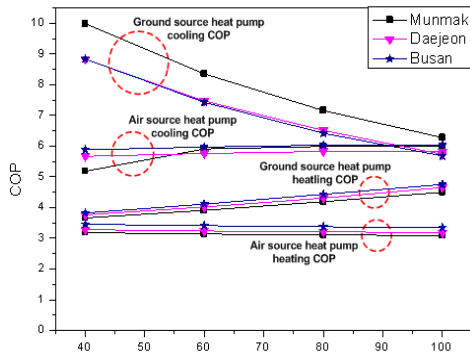


Fig. 4 COP variation with respect to the ratio of persons staying at the resort building

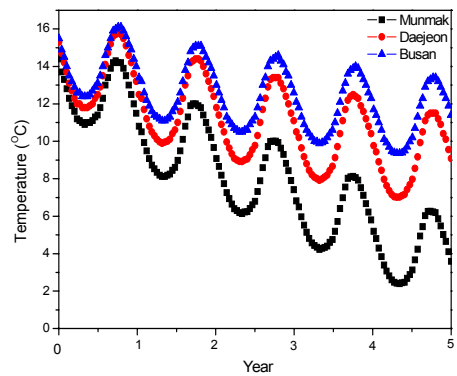
COP가 증가하게 되는데 인체에서 발생하는 열원과 여름철 냉방기간 지중으로 열원을 방출 하였던 열원을 난방기간에 흡수하여 사용함으로써 공기열원과 비교하였을 경우 지열원 히트펌프 시스템 난방 COP가 상승하는 결과를 얻을 수 있었다.

4.2 지열원·공기열원 복합열원 히트펌프 시스템

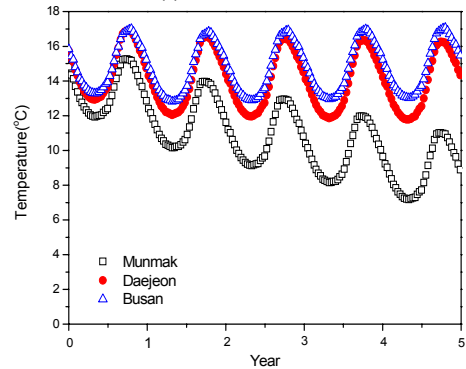
본 연구의 결과로서 복합열원 히트펌프 시스템의 운전성능을 비교하였다.

지열원·공기열원의 복합열원 히트펌프 시스템의 운전 방법은 외기온도가 낮은 밤과 새벽 시간에 지열원을 이용하고 낮에는 공기열원을 이용하여 지중온도를 회복시켜주는 시간으로 설정하여 전산해석을 수행하였다.

Fig. 5는 지열원 히트펌프 시스템과 지열원·공기열원 복합열원 히트펌프 시스템을 장기간 가동시킬 경우 지역별 지중 평균온도의 변화를 나타낸 것이다. 우리나라는 대체적으로 난방부하가 냉방부하에 비해서 크므로 지열원만을 이용하여 시스템을 가동할 경우 지중 평균온도가 하락하게 되는데 이는 지중 평균온도를 하락시키는 원인이 되며, 복합열원 히트펌프 시스템을 사용하였을 경우 그에 따른 지중 평균온도의 변화를 최소화할 수 있었으며, Table 2와 Table 3은 지열원 히트펌프 시스템 사용시 초기 지중 열교환기 설치비용 설치비용이 과다함에 따라 설치비용을 줄이기 위해서 용량을 2배로 증가시켜 히트펌프 시스



(a) Ground source



(b) Compound source

Fig. 5 Variation of temperatures

Table 2 Heating and cooling COP with respect to operation time of heat pump system(2RT/hole)

Heat pump operation using ground source	p.m.10~a.m.6 (8hours)	p.m.8~a.m.8 (12hours)	p.m.6~a.m.10 (16hours)	p.m.4~a.m.12 (20hours)
Heating COP	4.06	4.11	4.1	3.99
Cooling COP	6.7	7.07	7.47	8.07

Table 3 Heating and cooling COP with respect to operation time of heat pump system(4RT/hole)

Heat pump operation using ground source	p.m.12~a.m.4 (4hours)	p.m.10~a.m.6 (8hours)	p.m.8~a.m.8 (12hours)	p.m.6~a.m.10 (16hours)
Heating COP	3.87	3.73	3.59	3.41
Cooling COP	3.66	4.08	4.48	4.88

템 성능을 비교하여 나타낸 결과이다. 겨울철 건물 난방시 에너지 비용을 고려해 볼 때 용량을 증가시켰을 경우 난방 COP 비교를 통하여 히트펌프 시스템 성능 알아보면 크게 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있다.

4.3 지열원·수열원 복합열원 히트펌프 시스템

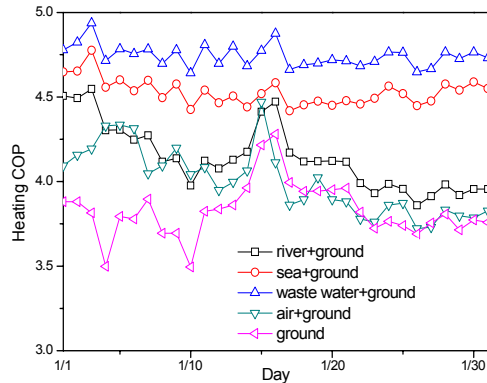


Fig. 6 Variation of heating COP with respect to different heat source

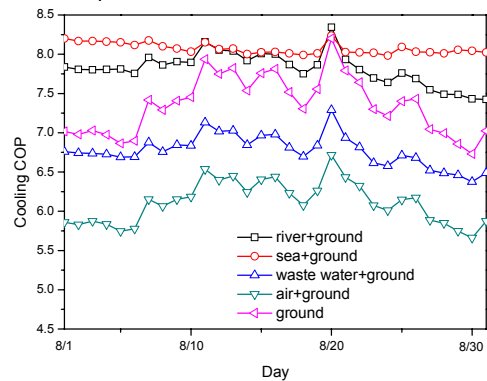


Fig. 7 Variation of cooling COP with respect to different heat source

Fig. 2에서 하천수의 경우 해수에 비하여 여름철의 온도는 높고 겨울철의 온도는 낮다. 해수열원은 여름철 약 22°C, 겨울철 약 10°C로 타 수열원에 비해 외기온도의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있고, 하수열원의 경우 공단에서 나오는 하수처리수를 이용하므로 타 수열원에 비하여 온도가 전체적으로 높다. Fig. 6은 1월 1일부터 1월 31일까지의 난방 COP 변화를 비교한 것이다. 지열원·공기열원을 복합열원으로 구성한 경우에는 2RT로 전산해석을 수행하였으며 12시간 지열원을 이용한 경우이다. 복합열원으로 히트펌프를 가동할 경우 모든 경우에 대해서 지열원을 단일열원으로 이용하는 경우에 비해 COP가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 8월 1일부터 8월 31일까지 냉방 COP 변화를 비교한 것이다. 냉방COP는 해수열원과 지열원을 이용할 경우 가장 우수한 성능이 나타나는 결과를 얻을 수 있었다. 해수열원은 Fig. 2에서 보인 바와 같이 여름철 온도가 가장 낮아 가장 높은 냉방 COP를 얻을 수 있다. 다음으로 하천수열원과 복합열원을 구성할 경우, 지열원 단일열원, 하수열원과 복합한 경우, 공기열원과 복합한 순으로 나타났다.

하수열원을 지열원과 함께 사용하는 경우 겨울철에 지중 열원을 조금 이용하게 되고 여름철에 매우 높아지는 하수의 수온으로 인하여 냉방 COP가 크게 떨어지는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 복합열원 히트펌프 시스템 전산 해석을 통하여 히트펌프 냉·난방 성능의 결과로서 그 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 지열원·공기열원 복합열원 히트펌프 시스템 사용시 한 개의 보어홀이 감당하는 부하를 2배로 증가 시키고 지열원을 이용하는 시간대를 줄여주면 지중 평균온도의 하락을 방지할 수 있으며, 난방 성능 비교시 히트펌프 운전성능을 유지하면서 지중 열교환기의 초기설치비를 절반으로 줄일 수 있다.

(2) 지열원·수열원 복합열원 히트펌프 시스템은 단일열원 히트펌프에 비해 높은 난방 COP를 가질 수 있으나 냉방 시에는 낮은 COP를 갖는다. 하지만 국내의 경우 난방부하가 크므로 난방시 절약되는 에너지 비용이 난방시 상승하는 에너지 비용보다 크다. 따라서 복합열원 히트펌프 시스템은 국내 적용에 유리하다.

(3) 수열원·공기열원 복합열원 히트펌프 시스템은 수온이 외기온도에 비해 연중 일정하므로 히트펌프 운전성능의 향상을 기대하기는 어렵다. 하지만 수열원은 주변 환경 등의 영향으로 그 부존량에 차한이 크므로 공기열원을 보조열원으로 사용하는 시스템이 적용 가능하다.

후기

본 연구는 2007년 한국건설기술연구원 학·연 협력연구로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- [1] Lee, C. S., Choi, Y. D., 1997, "Analysis of energy consumption of office building by thermal resistance-capacitance method," J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 1-13.
- [2] Choi, Y. D., Han, S. H., Cho, S. H., Kim, D. S., Um, C. J., 2008, "Study on the simulation of heating and cooling system to resident building," J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 65-74.
- [3] Byun, J. K., 2008, "Analytical study on the performance of fuel cell driven ground source heat pump system for large community building," MS thesis, Korea University, Seoul, Korea.
- [4] S. V. Patankar, 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Dynamics for Engineers," A. Publication of Engineering Education System.
- [5] Choi, Y. D., An, J. S., Kim, W. K., Pak, H. S., Jang, M. S., 1996, "Analysis on the thermal performances of cool tube systems for one year," Proceedings of the KSME, 1996 Fall Annual Meeting, pp. 725-731.